

UJI KONSOLIDASI DEPOSIT TANAH LUNAK DENGAN MENGGUNAKAN *HORIZONTAL DRAIN*

Ni Wayan Sutrianingsih

Steeva G. Rondonuwu, Oktovian B. A. Sompie

Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

ABSTRAK

Uji konsolidasi satu dimensi dengan menggunakan odometer dilakukan di laboratorium mengikuti standart ASTM. Beban di aplikasikan secara bertahap setiap 24 jam, berturut-turut 1, 2, 4, 8, 16 dan 32 kg. Pengujian di lakukan pada lempung lunak dengan dan tanpa menggunakan karung goni sebagai permeable layer (horizontal drain) pada tengah lapisan. Dimensi benda uji adalah 60 mm untuk diameter dan 20 mm untuk ketebalan. Hasil uji konsolidasi menunjukkan bahwa dengan menggunakan karung goni proses konsolidasi menjadi lebih cepat. Dengan karung goni diperoleh $c_v = 0.1485 \text{ mm}^2/\text{detik}$ sedangkan tanpa karung goni $c_v = 0.1378 \text{ mm}^2/\text{detik}$.

Kata kunci: odometer, konsolidasi, horizontal drain, penurunan

PENDAHULUAN

Pemanfaatan lempung lunak sebagai material dalam pekerjaan geoteknik telah banyak dilakukan. Baik sebagai bahan timbunan, sebagai lapisan *impermeable* pada dam, pondasi atau sebagai pelapis pada dinding *landfill* untuk tempat pembuangan akhir. Walaupun diketahui bahwa keadaan lempung sangat di pengaruhi oleh kadar air dan kepadatan lempung tersebut. Namun dengan semakin banyaknya permintaan pekerjaan perbaikan tanah memungkinkan lempung lunak digunakan sebagai bahan konstruksi.

Karakteristik lempung lunak adalah memiliki kuat geser yang rendah, indeks kompresibilitas tinggi, dan koefisien permeabilitas yang rendah serta batas cair yang tinggi. Perubahan kadar air dari lempung lunak yang jenuh menjadi salah satu penyebab perubahan sifat mekanis tanah lempung (Limsiri, 2008).

Lempung lunak di jumpai dalam jumlah yang banyak di beberapa tempat, yang terdekomposisi sebagai sedimen di marine area ataupun di dasar danau atau sungai. Material kerukan dari endapan tersebut, mengandung bahan organik yang tinggi. Diantaranya material kerukan yang berasal dari Danau Tondano Sulawesi Utara. Jenis material ini, memiliki kadar air yang tinggi, kuat geser yang rendah dan indeks mampat yang tinggi. Jenis material ini dikategorikan sebagai material sampah atau tidak berguna untuk pekerjaan konstruksi. Namun belakangan ini karena permintaan tanah sebagai material konstruksi, maka material kerukan mulai dimanfaatkan untuk maksud tersebut.

Walaupun demikian di berbagai belahan bumi, banyak dijumpai mega proyek yang dibangun diatas tanah lunak misalnya Shanghai Expressway di Cina dan Kansai Internasional Airport di Jepang. Hal ini dapat dilakukan setelah tanah lunak diperbaiki.

Salah satu bentuk perbaikan tanah yaitu meningkatkan besar koefisien rembesan pada tanah sehingga kecepatan konsolidasinya bertambah. Kondisi ini dapat dilakukan dengan menggunakan *horizontal drain* yaitu memasang jalan aliran air pori yang dipasang secara horizontal.

Adapun beberapa cara untuk metode perbaikan tanah lunak yang sudah banyak dilakukan termasuk evaluasi untuk mempercepat proses konsolidasi dalam meningkatkan kuat geser tanah, diantaranya dengan menambah beban timbunan (*surcharge load*), menaikkan tegangan efektif dengan memperkecil tekanan air pori.

LANDASAN TEORI

Tanah lunak didefinisikan sebagai tanah yang mempunyai kuat geser yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi sehingga dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang. Tanah lunak dibagi dalam dua tipe yaitu lempung lunak dan gambut. Dalam rekayasa geoteknik tanah lunak dapat ditentukan dengan melihat kuat geser dan indikasi penampakan fisiknya dilapangan.

Tabel 1. Konsisten tanah lunak berdasarkan kuat geser

Su (kPa)	Description
<10	<i>Very soft / sangat Lunak</i>
10-25	<i>Soft / Lunak</i>
25-50	<i>Medium / Sedang</i>
50-100	<i>Stiff / kaku</i>
100-200	<i>Very stiff / Sangat kaku</i>
>200	<i>Extremely stiff / Ekstrem kaku</i>

Tabel 2. Konsisten tanah lunak berdasarkan kuat geser

Konsistensi	Indikasi Lapangan
Lunak	Bisa dibentuk dengan mudah dengan jari tangan
Sangat Lunak	Keluar diantara jari tangan jika diremas dalam kepalan tangan

Jenis penurunan ini terjadi bersama dengan waktu yang berlalu. Tegangan air pori berlebih di transfer menuju partikel tanah menjadi tegangan efektif ($\sigma' = \sigma - u$). Saat tegangan air pori berlebih ini mendekati atau sama dengan nol, penurunan konsolidasi sudah selesai dan tanah berada dalam keadaan drained. Penurunan sekunder merupakan penurunan yang terjadi setelah penurunan konsolidasi. Penurunan ini terjadi seiring dengan waktu berlalu dan biasanya terjadi sangat lama setelah beban mulai bekerja, dimana partikel tanah mengalami creep. Penurunan ini terjadi saat semua tegangan air pori berlebih di dalam tanah telah terdisipasi dan saat tegangan efektif yang terjadi berada dalam keadaan konstan.

Dengan demikian, penurunan total dari suatu tanah yang ditebani adalah:

$$S_T + S_i + S_c + S_s$$

Dimana:

S_T = Penurunan total (cm)

S_i = Penurunan Seketika
(*Immediate Settlement*) (cm)

S_c = Penurunan Konsolidasi
(*Consolidation Settlement*) (cm)

S_s = Penurunan Sekunder
(*Secondary Settlement*)

Dengan kata lain, penurunan sekunder terjadi ketika penurunan konsolidasi selesai, yaitu pada saat tegangan air pori berlebih, u , sama dengan nol.

Ada dua jenis penurunan konsolidasi, yaitu konsolidasi normal (*Normally Consolidated, NC*),

dan konsolidasi berlebih (*Over Consolidated, OC*).

Penurunan Tanah

Salah satu permasalahan utama pada tanah lunak dalam suatu pekerjaan konstruksi adalah penurunan tanah yang sangat besar. Penurunan yang besar tersebut disebabkan oleh penurunan konsolidasi pada tanah, yang akan dijelaskan pada bagian berikutnya. Ketika tanah ditebani, maka sama dengan material lain, tanah akan mengalami penurunan.

Dalam ilmu Geoteknik, dikenal tiga jenis penurunan tanah yaitu:

1. Penurunan Seketika (*Immediate Settlement*)
2. Penurunan Konsolidasi/Primer (*Consolidation Settlement*)
3. Rangkak/Sekunder (*Creep/Secondary Settlement*)

Penurunan seketika merupakan penurunan yang terjadi seketika saat beban diberikan. Pada tanah jenuh air dan permeabilitas rendah, beban yang bekerja diterima sepenuhnya oleh tegangan air pori. Pada tanah dengan permeabilitas tinggi, tegangan air pori yang terjadi muncul hanya sebentar karena tegangan air pori ini terdisipasi dengan cepat. Deformasi yang terjadi pada tanah tidak disertai dengan perubahan volume.

Konsolidasi

Konsolidasi adalah suatu proses pengecilan volume secara perlahan-lahan pada tanah jenuh sempurna dengan permeabilitas rendah akibat pengaliran sebagai air pori. Proses tersebut berlangsung terus sampai kelebihan tegangan air pori yang disebabkan oleh kenaikan tegangan total telah benar-benar hilang. (Craig 1994).

Koefisien konsolidasi vertikal (C_v) menentukan kecepatan pengaliran air pada arah vertical dalam tanah. Karena pada umumnya konsolidasi berlangsung satu arah saja, yaitu arah vertical, maka koefisien konsolidasi sangat berpengaruh terhadap kecepatan konsolidasi yang terjadi. Harga C_v dapat dicari mempergunakan persamaan berikut:

$$C_v = \frac{0.848d^2}{t_{90}}$$

Dimana:

C_v = koefisien konsolidasi vertikal (cm^2/detik)

T_v = faktor waktu tergantung dari derajat konsolidasi

T = waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi (detik)

H = Panjang aliran yang harus ditempuh air pori selama proses konsolidasi

Tanah lempung jenuh dengan tebal awal H , diakibatkan beban lapisan tanah dalam menerima beban tambahan sebesar Δp (tegangan lateral = 0), menunjukkan akhir konsolidasi tambahan tegangan vertikal Δp pada tambahan tegangan dari p_0' ke p_1' . ($p_1' = p_0' + \Delta p$) dan terjadi pengurangan angka pori dari e_0 ke e_1 . Terdapat hubungan perubahan volume dengan angka pori yaitu:

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta V}{V} = \frac{e_1 - e_0}{1 + e_0} = \frac{\Delta e}{1 + e_0}$$

$$dS_c = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} dh = \frac{e_0 - e_1 p_1' - p_0'}{p_1' - p_0' 1 + e_0} dh$$

$$= m_v \Delta p dh$$

Penurunan tanah jika m_v dan Δp dianggap sama pada tiap kedalaman maka penurunan konsolidasi primer total $s_c = m_v \Delta p H$ jika tanah dilapis $s_c \Sigma m_{vi} \Delta p_i H_i$ penurunan umum yaitu:

$$s_c = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} H = \frac{\Delta e}{1 + e_0} H$$

Horizontal Drain

Horizontal Drain, adalah saluran penyaluran yang dibuat secara mendatar berdasarkan beda tinggi, biasanya dibawah kaki-kaki lereng di daerah buangan (*waste*) yang mengalirkan air ke sump. Saluran penyaluran ini akan berpindah mengikuti penurunan ketinggian (*level*) tambang.

Pada kondisi batu bara di sump pada level tertentu, sebelum dilakukan coal getting harus dilakukan penyaliran air di area tambang keluar dengan menggunakan pompa, aktivitas ini disebut dewatering.

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam dewatering yaitu: Kapasitas Slump, *Catchment area*, Jenis pompa yang digunakan, Diameter dan jenis pipa yang digunakan dan Geometrik gorong-gorong

ditunjukkan pada tabel 3, sedangkan kurva distribusi ukuran butiran dinyatakan dalam Gb. 2.

Tabel 3. Indeks Properti tanah

Kadar Air w (%)	Berat Jenis γ (gr/m ³)	Batas Cair LL (%)	Batas Plastis PL (%)
120.94	2.4	92.5	56



Gambar 2. Kurva distribusi ukuran butiran

Dari hasil pemeriksaan pada tabel 2 dan pengujian distribusi ukuran butiran pada Gb 1, tanah tersebut dikategorikan lempung lunak.

Metode dan tahapan penelitian diawali dengan melakukan observasi lapangan dan melakukan perencanaan kerangka kerja penelitian sebagai awal sebelum proses pengambilan dan berlangsung.



Gambar 1. Danau Tondano



Gb 2. Peta Danau Tondano

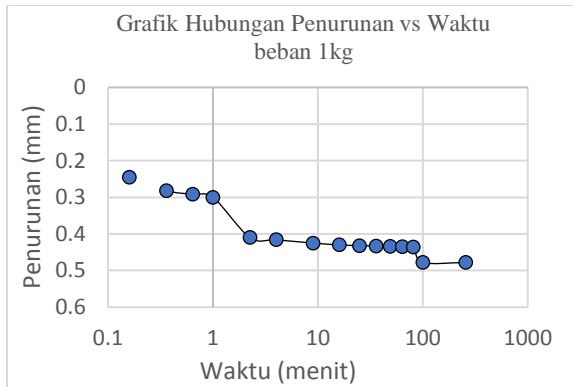
MATERIAL DAN METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan material kerukan Danau Tondano, yang diambil di Desa Watumea Kecamatan Eris. Dari hasil pengujian laboratorium untuk sifat fisik tanah dilakukan pemeriksaan kadar air (w), berat jenis tanah (γ), batas cair (LL), batas plastis (PL) dan analisis diperoleh indeks properti tanah seperti

ANALISA DAN PEMBAHASAN

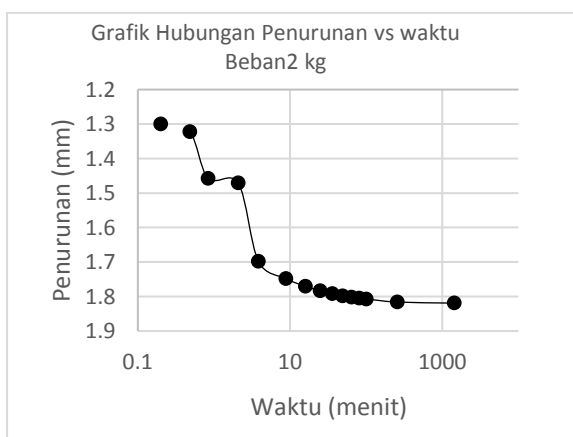
Pengujian konsolidasi satu dimensi dengan menggunakan Oedometer.

Pengujian konsolidasi satu dimensi dengan menggunakan oedometer dilakukan dengan mengikuti standar ASTM. Penambahan beban dilakukan setiap 24 jam sejak pembebanan awal, secara berurutan 1, 2, 4, 8, 16 dan 32 kg hasil pengujian ditampilkan dalam grafik hubungan penurunan dan waktu.



Gb 4. Grafik Hubungan Penurunan vs Waktu (Beban 1kg)

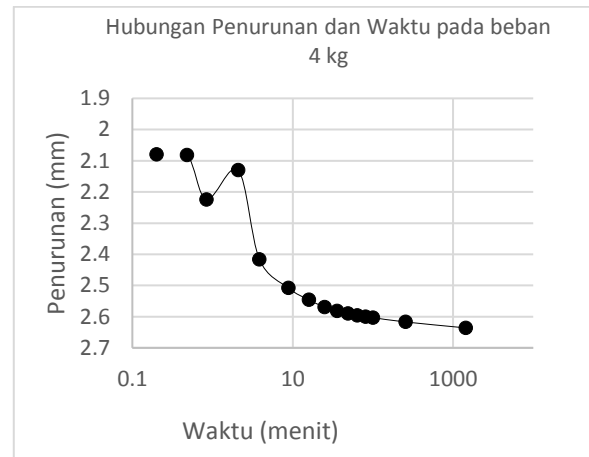
Pada pemberian beban 1kg diperoleh hubungan antara penurunan dan waktu seperti pada gambar 4.2. Pembebanan dimulai sejak pembacaan penurunan ada pada angka 0.3 mm, karena sebelum beban 1kg diaplikasikan pada contoh tanah telah terjadi penurunan prakonsolidasi. Kemudian pada bacaan menit ke-5 sampai ke-100 penurunannya tetap konstan pada 0.5 mm.



Gb.3. Grafik Hubungan Penurunan vs Waktu (Beban 2kg)

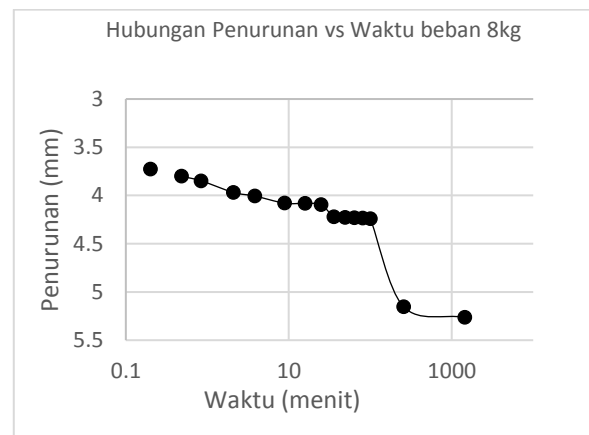
Pada peralihan pembebanan dari 1kg ke 2kg, penurunan tidak dapat dibaca dengan sempurna,

hal ini mungkin dikarenakan keterbatasan alat (alat ukur untuk penurunan terhambat oleh meja kerja). Sehingga pada aplikasi beban 2kg penurunannya baru dapat dicatat mulai 1.22 mm dan grafiknya menukik secara signifikan pada menit awal. Hal ini dikarenakan, air pada saat sampel keluar secara teratur setelah aplikasi beban 2kg, kemungkinan ada penyumbatan sebelumnya



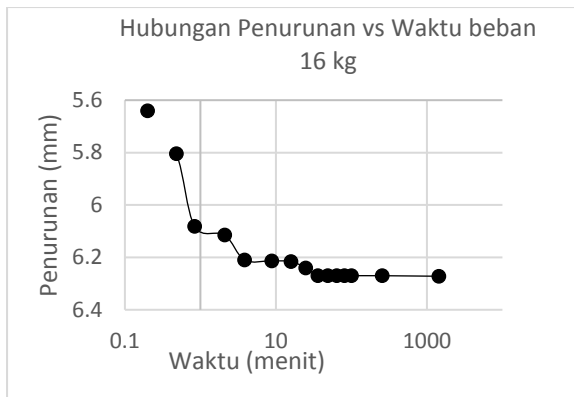
Gb 5. Grafik Hubungan Penurunan vs Waktu (beban 4kg)

Pada pembebanan 4kg karakteristik konsolidasi satu dimensi mulai terlihat pada menit ke-3 (ditunjukkan pada grafik 4.4), hal ini terjadi kemungkinan karena lonjakan sumbatan sampel pada jalan aliran air pori.



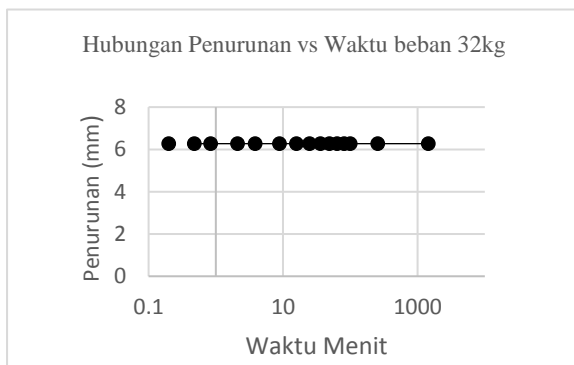
Gb 6. Grafik Hubungan Penurunan vs Waktu (Beban 8kg)

Pada pembebanan 8kg kecepatan penurunan terlihat dengan kecepatan tetap sampai menit ke-100 kemudian menukik tajam sampai 5.3 mm (Gb. 4.5).



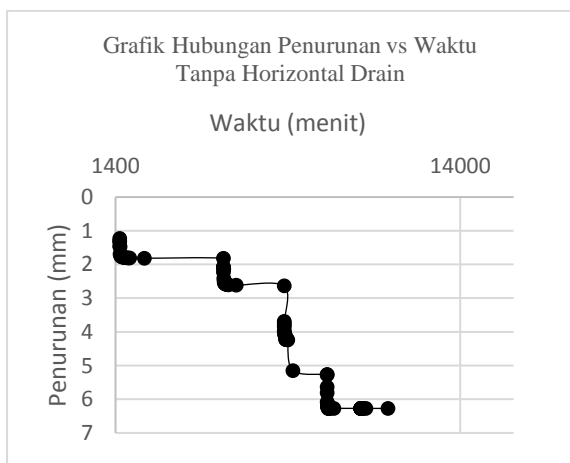
Gb 7. Grafik Hubungan Penurunan vs waktu (Beban 16kg)

Pada pembebanan 16 kg kecepatan penurunan signifikan pada menit awal dan melambat sampai mendekati 6.3 mm pada Gb. 4.6.



Gb 8. Grafik Hubungan Penurunan vs Waktu (Beban 32kg)

Pembebanan 32kg pada menit 7200 – 8600 penurunannya konstan pada 6.50 mm, hal ini terjadi karena sampel tidak lagi mengalami penurunan.

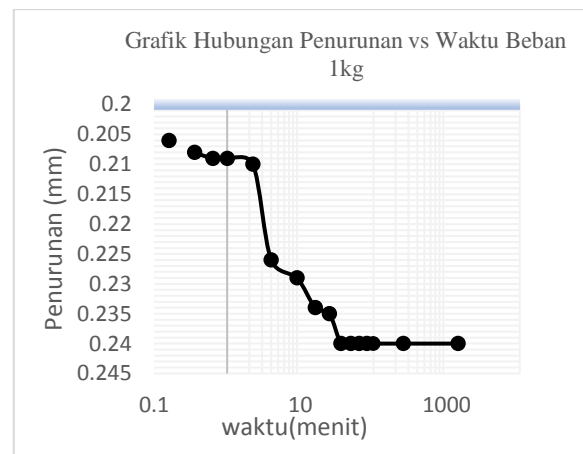


Gb 9 Grafik penurunan menggunakan horizontal drain

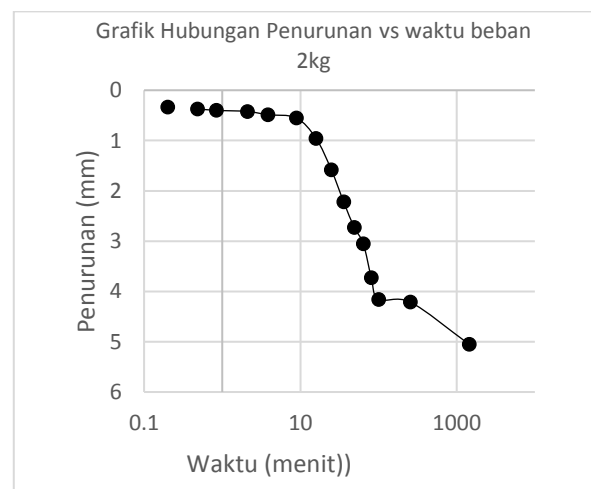
Dari hasil didapat pada semua grafik dari grafik pembebanan 1kg – 32kg dan digabungkan hasil penurunan dari 1mm – 7mm dan dari 1400 – 14000 menit. ada beberapa penurunannya tidak dapat dibaca dengan stabil dikarenakan air pori pada sampel keluar secara berurutan setelah penambahan beban. Akan tetapi penurunannya akan kembali konstan. Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat penurunannya sedikit lambat.

Hasil pengujian menggunakan horizontal drain.

Pembebanan 1kg diperoleh hubungan antara penurunan dan waktu seperti pada gambar 4.8. Pembacaan dimulai pada 0.2 mm. Pada peralihan pembebanan 1 kg ke 2kg nilai penurunan stabil tetapi dari 4.3 mm – 5.1 penurunannya lebih cepat tetapi tetap konstan pada 5.1 mm.

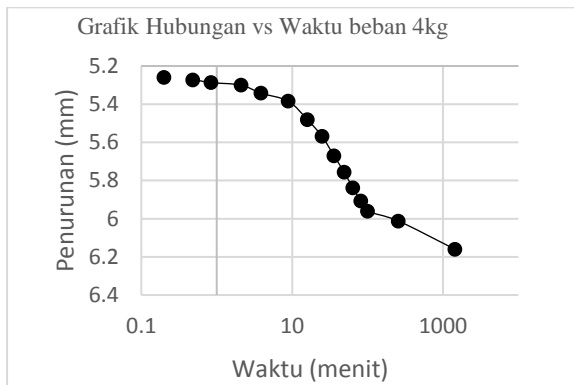


Gb 10. Grafik Hubungan Penurunan vs Waktu (Beban 1kg)



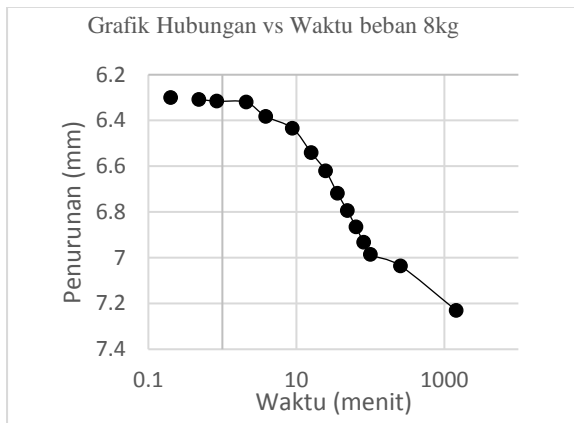
Gb. 11. Grafik Hubungan Penurunan vs Waktu (Beban 2kg)

Pada pembebanan 2kg penurunannya mulai stabil dari pembacaan 0.25 mm.



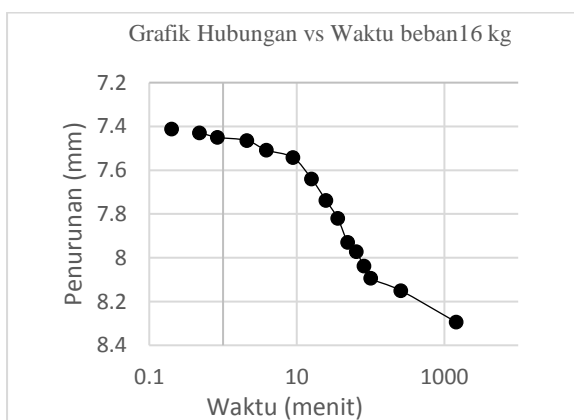
Gb.13. Grafik Hubungan Penurunan vs waktu (Beban 4kg)

Pada pembebanan 4kg penurunannya mulai stabil dari pembacaan 5.2 mm.



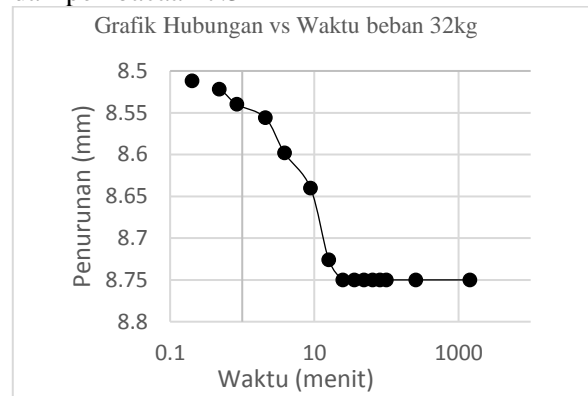
Gb. 14. Grafik Hubungan Penurunan vs Waktu (Beban 8kg)

Pada pembebanan 8kg penurunannya stabil dimulai dari pembacaan 6.2 mm.



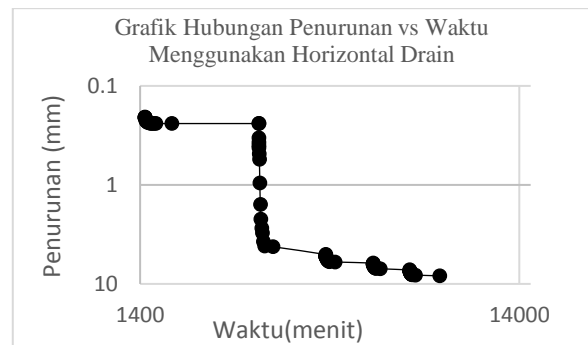
Gb.12 Grafik Hubungan Penurunan vs Waktu (Beban 16kg)

Pada pembebanan 16 kg penurunannya stabil dari pembacaan 7.3 mm



Gb.15. Grafik penurunan vs Waktu (Beban 32kg)

Pada pembebanan 32kg penurunannya stabil, tetapi pada penurunan 8.75 mm tetap konstan pada 8.75 mm.

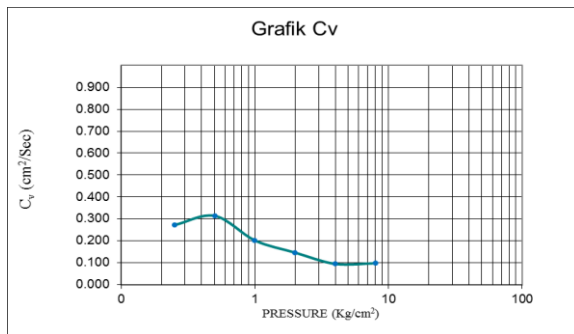


Gb.16. Grafik Hubungan Penurunan vs Waktu Menggunakan *Horizontal Drain*

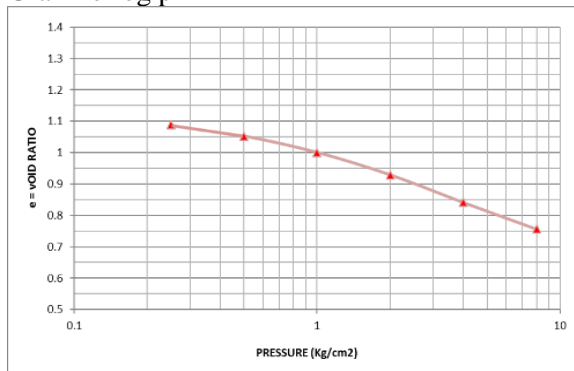
Dari hasil didapat pada semua grafik dari grafik pembebanan 1kg – 32kg dari gabungan hasil penurunan dari 1mm – 10 mm dan dari 1400 – 14000 menit, pada beban pertama 1kg penurunannya tidak stabil dikarenakan air pori pada sampel keluar secara berurutan setelah penambahan karena sebelum beban 1kg diaplikasikan contoh tanah. Akan tetapi pada pembebanan sampel berikutnya udah mulai kembali konstan. Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat penurunannya lebih cepat.

Hasil pemeriksaan konsolidasi

Penentuan koefisien konsolidasi (C_v) (Satu Dimensi)

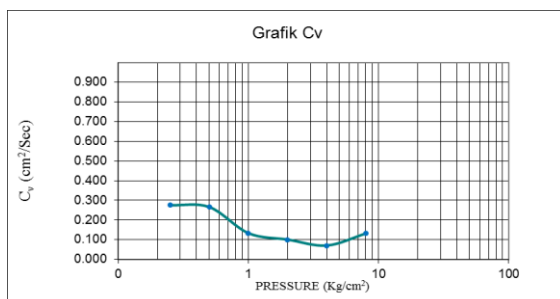
Gb.17. Hubungan C_v dan Tegangan

Grafik e-log p

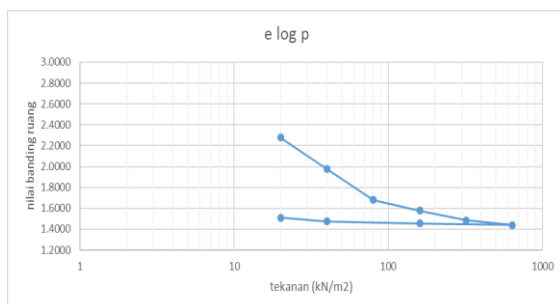


Gb.18. Hubungan angka pori (e) dan tegangan (p) dalam skala semi logaritme

Penentuan koefisien konsolidasi C_v (Horizontal drain)

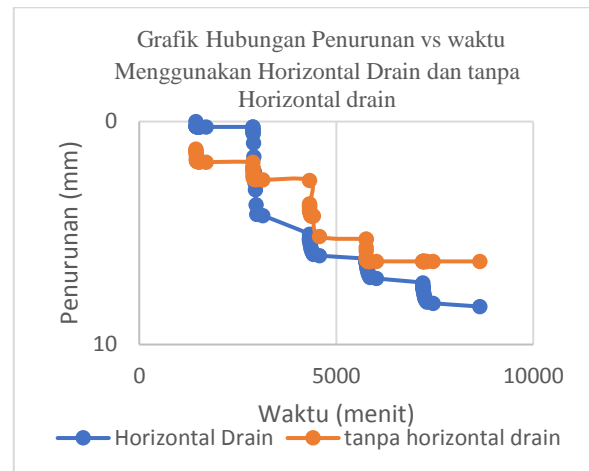
Gb.19. Hubungan C_v dan tegangan

Grafik e-log p (Horizontal drain)



Gb. 20. Hubungan angka pori (e) dan tegangan (p) dalam skala logaritme

Hasil Penurunan vs waktu menggunakan horizontal drain dan tanpa horizontal drain



Gb.21. Grafik Hubungan Penurunan vs Waktu menggunakan horizontal drain dan tanpa menggunakan horizontal drain

Dari hasil percobaan konsolidasi satu dimensi yang dilakukan menggunakan oedometer. Pengujian konsolidasi mengikuti standar ASTM, dengan rangkaian pembebanan 1, 2, 4, 8, 16, 32kg, dilakukan pada tanah lunak dengan dan tanpa *horizontal drain*. Dengan *horizontal drain* diperoleh C_v 0,1314 cm²/detik sedangkan tanpa *horizontal drain* C_v 0.0984 cm²/detik. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa proses konsolidasi lebih cepat terjadi pada konsolidasi menggunakan *horizontal drain*. Dari hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi pada perbaikan tanah lunak dengan maksud untuk mempersingkat waktu konsolidasi yaitu dengan menggunakan *horizontal drain*. Dari hasil percobaan, disimpulkan bahwa dengan menggunakan *horizontal drain* percepatannya lebih cepat daripada tidak menggunakan *horizontal drain*.

Dengan cara yang sama pengujian ini dilakukan dengan menggunakan geotekstil. Percobaan ini dilakukan untuk melihat kecepatan konsolidasi dengan menggunakan *horizontal drain* lebih besar dibandingkan tidak *horizontal drain*.

KESIMPULAN

Kontribusi pada perbaikan tanah lunak bermaksud untuk mempersingkat waktu konsolidasi yaitu dengan menggunakan *horizontal drain* dan untuk melihat kecepatan konsolidasi dengan dan tanpa menggunakan

horizontal drain. Pengujian konsolidasi mengikuti standar ASTM, dengan rangkaian pembebanan 1, 2, 4, 8, 16, 32kg, dilakukan pada tanah lunak dengan dan tanpa *horizontal drain*. Dengan *horizontal drain* diperoleh C_v 0,1314 cm^2/detik sedangkan tanpa *horizontal drain* C_v 0,0984 cm^2/detik . Dari hasil pengujian diperoleh bahwa proses konsolidasi lebih cepat terjadi pada konsolidasi menggunakan *horizontal drain*. Dari

hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi pada perbaikan tanah lunak dengan maksud untuk mempersingkat waktu konsolidasi yaitu dengan menggunakan *horizontal drain*. Dari hasil percobaan, disimpulkan bahwa dengan menggunakan *horizontal drain* proses konsolidasi menjadi lebih cepat daripada tidak menggunakan *horizontal drain*.

DAFTAR PUSTAKA

- Craig. R. F., 1991. *Mekanika Tanah*, edisi ke empat, Erlangga, Jakarta.
- Chai J. C. dan Rondonuwu S. G., 2015. *Surcharge Load Rate for minimizing lateral displacement of PVD improved deposit with vacuum pressure*. Department of Civil Engineering and Architecture, Saga University, Japan
- Das B. M., 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)* Jilid 1. Erlangga, Surabaya.
- Herman, 2016, *Mekanika Tanah II*. Buku ajar. Pertemuan IV Konsolidasi
- Hanggari E. S., 2008. *Fungsi strategis Danau Tondano, perubahan ekosistem dan masalah yang terjadi*, Pusat teknologi lahan kawasan dan mitigasi bencana badan pengkajian dan penerapan teknologi, Jakarta.
- Ikratul H., 2016. *Study Analisis Penurunan Tanah Lempung Lunak Dan Lempung Organik Menggunakan Pemodelan Matras Beton Bamboo Dengan Tiang*, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Putro S. E., 2010. *Studi Parameter Komperensi Sekunder Pada Tanah Lunak di Madura*, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Rondonuwu S. G., dkk., 2016. *Prediction of the stress state and deformation of soil deposit under vacuum pressure*. Transportation Geotechnics Vol 6. Pages 75-83.
- Rondonuwu S. G., dkk., 2014. *Minimizing Lateral Displacement of Clayey Deposit Under Combined Vacuum and Surcharge Loads*. Tunneling and Underground Construction GSP 242. ASCE 2014
- Sarasi A. D., 2014. *Teknik Perbaikan Tanah Lunak*, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Wesley L. D., 2012. *Mekanika Tanah Untuk Tanah endapan dan Residu*. ANDI Yogyakarta